

空港の地盤改良工事における AR の活用事例 —滑走路面隆起量の可視化—

五洋建設（株） 土木設計部 正会員 ○甲斐雅比呂，堤彩人，山本敦
 五洋建設（株） 九州支店 曾和洋平，佐川隆亮
 中央大学 檜山和男，洲崎文哉

1. はじめに

空港の滑走路下の地盤改良工事では、滑走路の基準勾配を維持するため滑走路面の隆起量を厳しく管理しながら施工を行う必要がある。しかし地中の施工状況や隆起を目視で確認することは難しいため、本稿ではその解決方法として「令和2年度福岡空港滑走路外地盤改良工事」において実施した BIM/CIM（以降、CIM と呼ぶ。）および AR を活用した施工管理方法を紹介する。

2. 地盤改良工事における CIM を用いた施工管理方法

本工事は、曲がり削孔式浸透固化処理工法¹⁾により、滑走路下の液化化層を地盤改良する工事である。図-1 に工事の平面模式図を示す。緑地帯からの曲がり削孔を採用することで、滑走路の損傷を防ぐとともに、空港を供用しながらの施工を可能としている。

本工事の特徴として、改良レイアウトが複雑なこと、滑走路面の隆起量を厳格に管理する必要があることが挙げられる。このため、施工管理用の CIM モデルを作成し、注入の進捗や隆起量の管理に用いた。CIM モデルの作成・運用に

は、当社が開発した Gi-CIM²⁾を用い、施工管理情報を基に地盤改良の形状を忠実に再現した。表-1 に使用した施工管理情報の一覧表を示す。例えば、改良体のモデル化では、挿入式ジャイロで計測した削孔ライン上に注入位置を定義し、計測した注入量を基に大きさを推定した。図-2 に完成した CIM モデルを示す。注入工の情報と隆起量の観測記録を統合することで、注入と隆起の相対的な位置関係を視覚的に把握できるようになる。さらに、モデルには属性情報として時間情報を付与しているため、注入に伴う隆起傾向の大局的な変化を把握することも可能である。

施工品質の向上のため、現場事務所（福岡県）と本社土木設計部（東京都）の間で定期的に WEB 会議を開催し、施工の進捗と滑走路の隆起の状況を共有することで現場職員以外の視点からのチェックを行っている。このとき、CIM モデルを用いることで、迅速に現場の状況を把握できること、また、施工計画の変更協議の際には合意形成が円滑化すること等の効果を確認している。

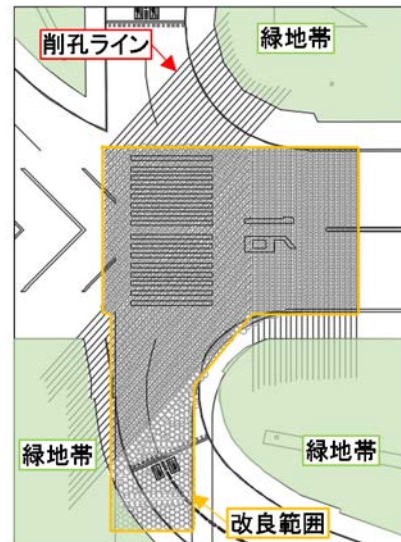


図-1 地盤改良工事の平面模式図

表-1 モデル一覧

モデル名	形状	入力情報			データ取得方法	施工管理システム：Gi-CIM ²⁾	
		実績データ		時間情報		モデリング	統合・運用
① 削孔ライン	円柱	x,y,z座標		×	挿入式ジャイロ	C-Grout Civil3D	Navisworks
② 改良体	楕円体	注入位置	注入量（改良径）	注入日	CCS（集中管理装置）		
③ 隆起量	TINサーフェス	計測点	隆起量	計測日	オートレベル		

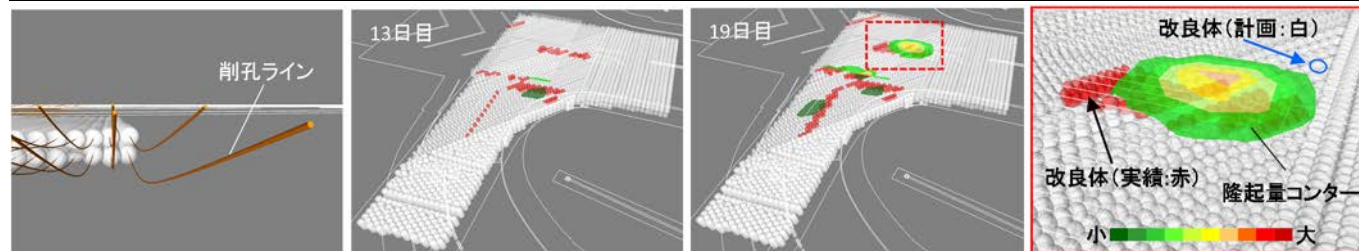


図-2 CIM モデル

キーワード BIM/CIM, AR, 地盤改良工, 浸透固化処理工法

連絡先 〒112-8576 東京都文京区後楽 2-2-8 五洋建設（株）土木本部土木設計部 TEL03-3817-7813

3. ARを用いた隆起量の現地可視化方法の検討

(1) ARモデルの作成・投影方法

本工事では、施工現場でCIMモデルを活用するため、ARの導入を検討している。ARモデルの作成・投影にはMixpace (SB C&S, ホロラボ) を用いた。今回のように既に3Dモデル (CIM) が完成している場合には、簡単なステップで現地適用できる点がMixpaceの強みである。モデル投影までの流れは1)~4)のとおりである。1)図-2のCIMモデルをfbxファイルとして出力しMixpaceにインポートする。2)滑走路上に基準点を定義し、基準点に対応するARモデル空間上の座標点にARマーカーを設置する。3)印刷したARマーカーを滑走路上の基準点に設置し、タブレット端末で読み込む。4)タブレット画面越しの滑走路に実寸大のARモデルが投影される (重畳表示)。

(2) 空港の地盤改良工事におけるARの活用方法

滑走路上で観測される隆起量の値はミリメートルオーダーであり、現場でその変化を目視確認することは難しい。ここでは、ARを用いて現地に隆起量を重畳表示する際の効果的な方法について検討する。

検討には、「隆起量モデル」「改良体モデル」「壁モデル」の3種類のARモデルを用いた。「隆起量モデル」は滑走路面の日当たりの隆起量をコンター表示したもの、「改良体モデル」は注入が完了した改良体をモデル化したもの、「壁モデル」は垂直な長方形の平面サーフェスの深度方向に目盛りと数字を記載したものである。これらのモデルを組み合わせて、効果的な表示方法を検討した。

(3) 実験結果

a) 隆起量モデル重畳表示の効果： 図-3に示すモデル投影前の写真では、地表面の隆起の様子は肉眼では確認できず平坦な滑走路にしか見えない。図-4のように隆起量モデルを滑走路の地表面に沿うように重畳表示することで隆起箇所、隆起範囲、隆起量を確認できることがわかる。

b) 改良体モデル重畳表示の効果： 図-5より、改良体と合わせて隆起量モデルを表示することで、改良体が表示されている場所、つまり注入済みの箇所で隆起していることが把握可能になった。しかし地表面に配置される隆起量モデルと異なり、改良体モデルは地中に配置されるため、現実空間との位置関係の把握が難しいことがわかった。そのため、どの改良体が隆起範囲の直下にあるのかといった、改良体モデルと隆起量モデルの相対的な位置関係がわかりづらいということが判明した。

c) 壁モデル重畳表示の効果： b)の問題を解決するため、3種類全てのモデルを重畳表示した。図-6より壁モデルを用いることで改良体と隆起箇所・範囲の平面的な位置関係に加え、深度方向の位置関係の把握も可能になった。図-6の場合は壁モデルの前の改良体が隆起範囲の中心近く、深度3.5m付近に位置していることが確認できる。

4. まとめ

本稿では空港の地盤改良工事におけるCIMおよびARの活用事例について紹介した。不可視領域での施工となる地盤改良工事において、CIMおよびARの活用は施工品質や生産性の向上に大きく寄与する可能性があると考えられる。今回の結果を踏まえ、今後も新たな活用方法について検討を続けていく予定である。

参考文献

- 1) 一般財団法人沿岸技術研究センター：浸透固化処理工法技術マニュアル (改訂版), 2020.
- 2) <https://www.netis.mlit.go.jp/netis/pubsearch/details?regNo=KTK-210009>

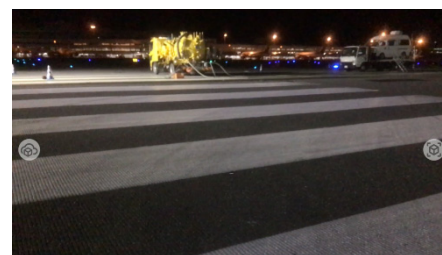


図-3 AR投影前

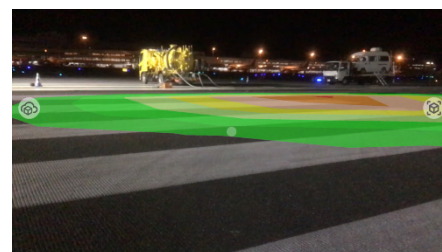


図-4 隆起量モデル

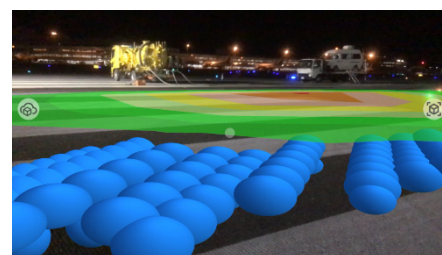


図-5 改良体モデル

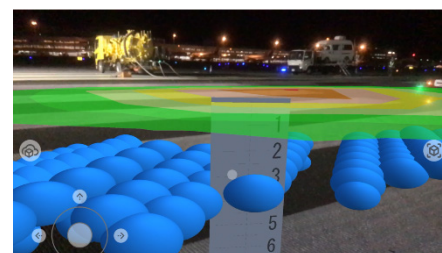


図-6 壁モデル